

# 基于文丘里管和射线技术的低压湿气测量方法

郑永建<sup>1</sup> 王镇岗<sup>2</sup> 潘艳芝<sup>2</sup> 赵月前<sup>2</sup>

1. 中海石油(中国)有限公司湛江分公司 2. 海默科技(集团)股份有限公司

**摘 要** 湿气流量测量普遍存在着流量虚高的现象,从而导致测量结果不准。为解决上述问题,首先基于文丘里管流量测量原理分析了湿气测量虚高机理,然后针对低压湿气计量开展了大量测试,对比分析了现有不同经验模型的计算误差,在气液分相流模型基础上,利用射线技术测量空隙率并结合文丘里管测量结果获取液体折算速度,进而进行回归分析,提出了新的湿气流量虚高修正模型。研究表明:①文丘里管测量湿气流量虚高的原因主要是由于液相的存在而对气相有阻塞,从而产生了加速压力降以及气相对液相加速导致的摩擦阻力压降;②文丘里管的流量虚高值主要跟 Lockhart-Martinelli (LM) 参数、液体折算速度、空隙率及干度等能表征液体携带量的参数相关;③现有模型的 LM 参数等在实际应用中无法直接测量;④液体折算速度跟文丘里管虚高值有较强的线性关系,据此计算出的气流量均方根误差最小;⑤基于文丘里管和伽马传感器测量的空隙率从气液两相流分相流模型出发,可计算出液体折算速度,从而建立新的气流量虚高修正模型。结论认为,所建新模型最终得到的气流量均方根误差为 5.1%,能够满足实际测量需求,为湿气测量的工程应用提供了新方法。

**关键词** 文丘里管 射线技术 湿气 流量虚高 空隙率 液体折算速度 干度 LM 参数

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2019.09.015

## A low-pressure wet gas measurement method based on Venturi flowmeters and Gamma ray technology

Zheng Yongjian<sup>1</sup>, Wang Zhengang<sup>2</sup>, Pan Yanzhi<sup>2</sup> & Zhao Yueqian<sup>2</sup>

(1. CNOOC China Limited Zhanjiang Branch, Zhanjiang, Guangdong 524000, China; 2. Haimo Technologies Group Corp., Lanzhou, Gansu 730010, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 39, ISSUE 9, pp.117-122, 9/25/2019. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

**Abstract:** When the flow rate of wet gas is measured, overreading is common, which leads to inaccurate measurement. In order to solve this problem, this paper firstly analyzed the overreading mechanisms of wet gas measurement based on the principle of Venturi flow rate measurement. Then, a great number of tests were carried out on low-pressure wet gas measurement, and the calculation errors of existing empirical models were comparatively analyzed. On the basis of the gas-liquid fractional flow model, the void fraction was measured by means of the Gamma ray technology, and combined with the Venturi measurement result, the superficial liquid velocity was obtained. Finally, regression analysis was carried out, and a new model for correcting the overreading of wet gas flow rate was proposed. And the following research results were obtained. First, the main reason for the overreading of wet gas flow rate measured in Venturi tubes is that due to the existence of liquid phase, gas phase is blocked, which results in accelerated pressure drop and friction-drag pressure drop caused by the acceleration of gas phase to liquid phase. Second, the overreading of Venturi flow rate measurement is mainly related to the parameters that can characterize the liquid carrying rate, such as Lockhart-Martinelli (LM) parameter, superficial liquid velocity, void fraction and dryness fraction. Third, in practical application, LM parameter in existing models cannot be measured directly. Fourth, there is a stronger linear relation between the superficial liquid velocity and the overreading of Venturi measurement. And the gas flow rate calculated based on this relation is the least in the root-mean-square (RMS) error. Fifth, beginning from the gas-liquid two-phase fractional flow model, the Venturi measurement and the void fraction measured by means of Gamma sensor can be used to calculate the superficial liquid velocity, so a new model for correcting the overreading of gas flow rate can be established. In conclusion, the gas flow rate measured in the newly established model has an RMS error of 5.1%, which can satisfy the requirements of actual measurement. The research results provide a new method for the engineering application of wet gas measurement.

**Keywords:** Venturi; Gamma ray technology; Wet gas; Flow rate overreading; Void fraction; Superficial liquid velocity; Dryness fraction; LM parameter

**基金项目:** 工业和信息化部高技术船舶科研项目“水下两相湿气流量装置研制”(编号:工信部联装[2014]497号文件)。

**作者简介:** 郑永建, 1971年生, 高级工程师; 主要从事油气田动态监测及动态分析方面的研究和技术管理工作。地址:(524057)广东省湛江市坡头区22号信箱。ORCID: 0000-0003-1450-3613。E-mail: zhengyj@cnooc.com.cn

## 0 引言

湿气是一种以气相为主、夹带少量液相的气液两相流,普遍存在于能源开采和动力产生等工业过程中。根据美国石油学会(API)和国际标准化组织(ISO)的相关文献<sup>[1-2]</sup>,一般把体积含气率超过95%或无量纲数Lockhart-Martinelli(简称LM参数)小于0.3的气液两相流定义为湿气。如何简便、准确地测量工况条件下的湿气流量一直是重要的研究内容<sup>[3-7]</sup>。

从调研情况来看,国内外学者对于单相干气测量、计算模型较为成熟、而结构又相对简单的文丘里管、孔板等差压式节流装置开展了大量的湿气测量试验研究(以水平管流动作为基础,工况压力超过2 MPa),并根据实验结果对因液相存在而产生的差压读数偏高现象(称为虚高)提出了修正模型<sup>[8-15]</sup>。从这些文献可以看出虚高修正主要受LM参数、气体Froude数以及气液密度比等参数的影响。要使用上述模型进行虚高修正,需先行确定LM参数和气体Froude数,而要计算LM参数和气体Froude数又需事先知道湿气中液体质量流量或气体质量流量,但在实际的湿气测量条件下,液体质量流量、气体质量流量本身就是需要求解的未知量。因此,单一文丘里管或孔板很难直接应用于湿气的实际测量,需要引入新的技术。为此,张强等<sup>[16-17]</sup>采用双差压节流技术对湿气测量虚高修正方法进行了研究,其试验主要在工况压力小于0.2 MPa、LM参数小于0.2的水平湿气环线中进行。除了文丘里管和孔板技术,其他如射线技术<sup>[18-20]</sup>也被用于湿气或气液两相流研究。从本文参考文献[21]可以看出,在沙特阿拉伯的沙特阿美油气田中,商用湿气流量计采用了文丘里管和射线技术相结合的方法。

根据以上分析可知,国内外已开展的湿气测量研究主要集中于水平管流动,工质多为空气和水,国外研究工况压力普遍较高(2 MPa以上),而国内研究工况压力普遍较低(0.2 MPa以下),且LM参数范围较窄(0.2以下)。为此,基于低渗透率气藏或处于开发中后期的常规气藏天然气井产出的低压湿气测量的实际需要,结合试验环线条件(工况压力介于0.85~1.61 MPa),利用文丘里管和射线技术,对在垂直管道内向上流动的、干度(质量含气率)介于0.25~0.74、LM参数介于0.04~0.29(覆盖整个湿气范畴)、以天然气和水为工质的湿气进行了测量。在对比前人研究成果的基础上,根据试验结果提出了一种低压湿气流量测量新方法和虚高修正新模型。

## 1 理论模型

一般情况下,作为差压式流量计的一种,文丘里管流量计只适用于组分均匀的单相牛顿流体,当被测流体夹杂其他工质时,其所测得的差压值就会发生显著的变化。

当单相气体流过竖直安装的文丘里管时,基于连续方程以及伯努利方程可推导出其质量流量计算公式如下:

$$M_g = \frac{C\varepsilon A_0}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2\Delta p_g \rho_g} \quad (1)$$

式中 $M_g$ 表示气体质量流量,kg/h; $C$ 表示文丘里管流出系数,取数0.995; $\varepsilon$ 表示气体膨胀系数; $A_0$ 表示文丘里管的喉部面积, $m^2$ ; $\beta$ 表示文丘里管的喉径比; $\rho_g$ 表示气体工况密度, $kg/m^3$ ; $\Delta p_g$ 表示气体单独流过文丘里管时产生的压降(扣除静压差),kPa。

若等量的气体中携带少量液相,将直接测量的差压值带入式(1)计算,所测差压值会偏高,从而引起湿气流量增高(以下简称虚高)。所得湿气质量流量如下:

$$M_{tp} = \frac{C\varepsilon A_0}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2\Delta p_{tp} \rho_g} \quad (2)$$

式中 $M_{tp}$ 表示虚高的气体质量流量,kg/h; $\Delta p_{tp}$ 表示湿气流过文丘里管时产生的压降(扣除静压差),kPa。

为了得到真实的气体流量,引入无量纲虚高修正系数( $\varphi$ ),其表达式如下:

$$\varphi = \frac{M_{tp}}{M_g} \quad (3)$$

湿气经过文丘里管测量造成虚高的原因主要是液相的存在对气相有阻塞,从而产生了加速压力降以及气相对液相加速导致的摩擦阻力压降。

针对虚高现象,国内外研究人员开展了丰富的研究,其中Murdock<sup>[8]</sup>和Chisholm<sup>[9]</sup>所提出的修正模型具有广泛的影响力。但由于这些模型都只考虑了LM参数以及密度比,而没有考虑因湿气有液相引入而导致的相间剪切应力所造成的影响,因此对虚高修正效果并不理想。

笔者在使用文丘里管流量计的基础上,额外引入空隙率这一重要参数对传统文丘里管测量模型进行修正。空隙率用于表征气相在通道中流动所占截面积与总流通截面积之比,其定义用滑速比模型描述可推出以下理论式:

$$\alpha = \frac{1}{1+S \left[ \frac{\rho_g(1-x)}{\rho_l x} \right]} \quad (4)$$

式中  $\alpha$  表示空隙率； $S$  表示滑速比，为气相与液相真实速度之比； $x$  表示干度； $\rho_g$  和  $\rho_l$  分别表示气相和液相密度， $\text{kg/m}^3$ 。

在实际的湿气测量过程中，LM 参数 ( $X$ ) 是未知的。笔者从气液两相流分相流出发，基于文丘里管和空隙率可计算液体折算速度，然后建立经验模型。由空隙率的定义可知，该参数本身隐含着湿气的滑速比和干度等信息。所以加入空隙率参数后，基于试验数据拟合得到的半经验公式可以更精细地描述隐含信息，从而获得较高精度的气流量测量结果，实现虚高计算和湿气中气流量测量。

## 2 试验测量装置及测试方法

### 2.1 试验测量系统

为最大限度地模拟真实情况，试验在中国石油大庆油田地面设计院油、气、水三相流环线开展，直接采用油井计量站所采集的油、气、水三相流作为试验工质，使用的油、水、气介质标况密度分别是  $856.0 \text{ kg/m}^3$ 、 $1\ 001.5 \text{ kg/m}^3$  和  $0.902 \text{ kg/m}^3$ 。试验基本测试流程如下：从计量站采集的油、气、水三相流首先进入分离器进行三相分离，为保证油、水彻底分离，配备了电加热装置。随后单相油、气、水流体首先分别由单相标准测量仪表进行测量，然后混合后进入竖直的测试段，各相流量可通过相应的阀门调节气液的配比，从而实现测试管段内湿气工况动态控制。在工质经过测试管段后再次进入分离器分离从而达到循环使用的目的。环线的油路、水路单相计量分别采用精度为 0.2% 的刮板流量计和电磁流量计测量，气路单相采用精度为 0.5% 的智能旋进涡街流量计。

### 2.2 测试段测量装置

测量管段由一个直径为 50.8 mm 文丘里管以及一对伽马射线发射接收装置组成，其中文丘里管的喉径比 ( $\beta$ ) 为 0.5，文丘里管垂直安装，湿气从下向上流动，其结构如图 1 所示。伽马射线的发射和接收装置安装在文丘里管入口处，用来测量空隙率 ( $\alpha$ )。文丘里管的压降、压力和温度采集均采用工业级的高精度传感器。当流态稳定后，每个试验点数据采集时间均介于 20 ~ 30 min。试验操作压力介于 0.85 ~ 1.61 MPa，试验空隙率介于 0.94 ~ 0.99，干

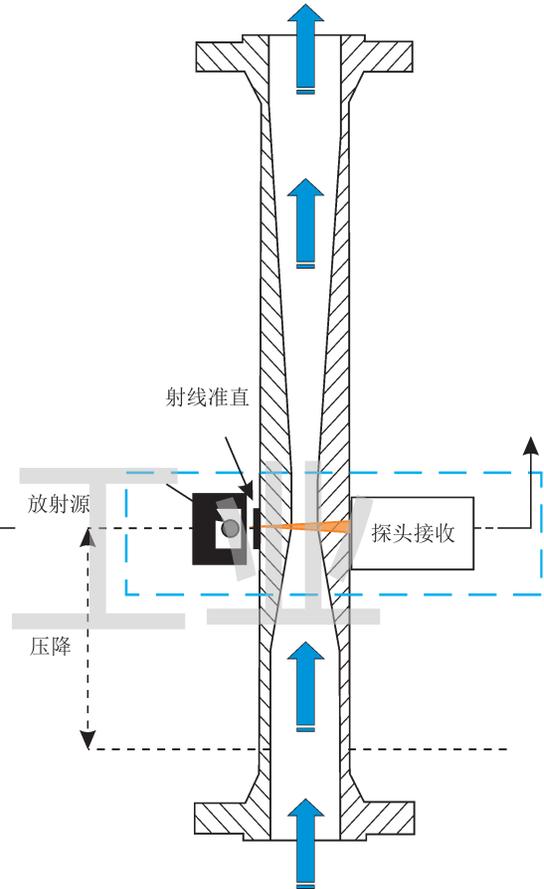


图 1 测试管段所用测量装置示意图

度介于 0.25 ~ 0.74，LM 参数介于 0.04 ~ 0.29，气体 Froude 参数介于 0.12 ~ 0.38。

## 3 试验结果及分析

湿气测量虚高的影响因素非常多，通过统计大量的实验数据，在图 2 中分别给出了气体 Froude 参数、LM 参数、干度和液体折算速度与参考虚高值的关系。

从图 2 不难发现，参考虚高值和表征液体携带量的参数，如 LM 参数、液相折算速度和干度都存在一定的线性关系，而与 Froude 参数相关度不大。因此，根据实验数据，分别对线性相关度较大的参数进行回归分析，得出以下公式：

$$\varphi = 3.95X^2 + 0.66X + 1.32 \quad (5)$$

$$\varphi = 13.926J_1 + 1.186 \quad (6)$$

$$\varphi = -1.198x + 2.206 \quad (7)$$

式中  $J_1$  表示液体折算速度，m/s。

同时考虑 LM 参数和空隙率，对数据进行回归后得到如下公式：

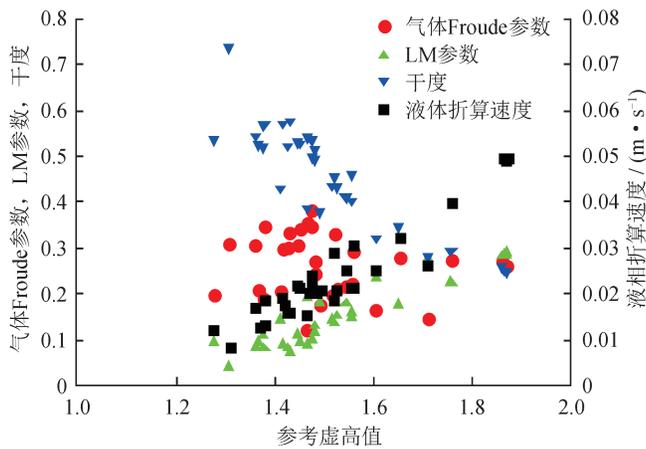


图2 参考虚高值与 LM 参数、气体 Froude 参数、干度和液体折算速度的关系图

$$\varphi = 0.441 + \frac{0.795}{\alpha} + 1.591X \quad (8)$$

然后根据拟合公式重新计算虚高值与参考虚高值进行对比，结果如图 3 所示。通过观察，式 (6) 的结果最优，这是因为虚高现象是因为液相的引入使得气体流量测量值偏高，因而虚高值跟液相折算速度有较强的依赖关系，而该公式将空隙率对虚高值的影响考虑在内。

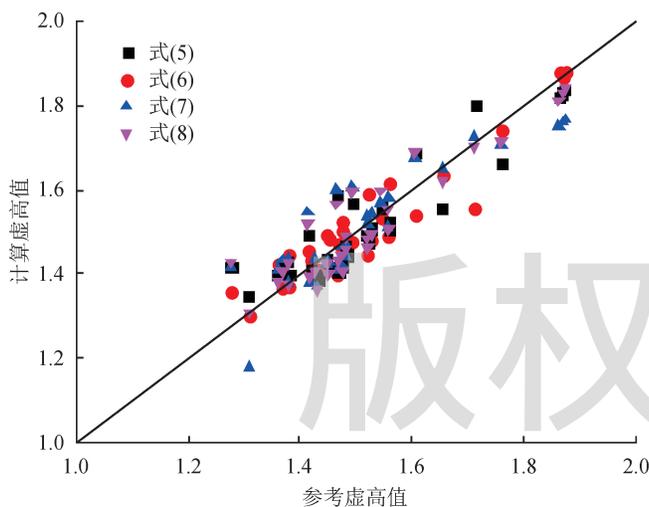


图3 不同计算方法下的虚高值与参考虚高值图

表 1 列出了各种方法计算的气流量均方根误差，其中式 (6) 对应误差最小，为 3.4%。

然而，上述这些拟合式虽然都能够较好地反映虚高值，但都是基于 LM 参数、干度或液体折算速度等在实际油气田生产过程中的未知参数。所以从气液两相流分相模型出发，利用伽马传感器测得空隙率，并通过文丘里管测量结果计算得到液体折算速

表 1 不同计算方法下的虚高计算均方根误差

| 计算方法  | 参数  | 气流量均方根误差 |
|-------|---|----------|
| 式 (5) | $\varphi = 3.95X^2 + 0.66X + 1.32$                | 4.0%     |
| 式 (6) | $\varphi = 13.926J_1 + 1.186$                     | 3.4%     |
| 式 (7) | $\varphi = -1.198x + 2.206$                       | 4.7%     |
| 式 (8) | $\varphi = 0.441 + \frac{0.795}{\alpha} + 1.591X$ | 3.8%     |

度，从前面分析中发现液体折算速度最能体现虚高值的变化趋势，得到的虚高值误差最小，所以以液体折算速度为基础讨论虚高值和湿气气流量测量误差。从气液两相分相流模型<sup>[10]</sup>可得到下面的公式：

$$M_{tp} = \frac{C\varepsilon A_0}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2\Delta p_{tp} [\rho_l(1-\alpha) + \rho_g\alpha]} \quad (9)$$

根据式 (9) 和空隙率 ( $\alpha$ )，即可以按照式 (10) 计算出液体折算速度。即

$$J_1 = \frac{M_{tp}(1-\alpha)}{A[\rho_l(1-\alpha) + \rho_g\alpha]} \quad (10)$$

式中  $A$  表示文丘里管的入口截面积， $m^2$ 。

根据式 (10) 计算出的参考虚高值与液体折算速度的关系如图 4 所示。

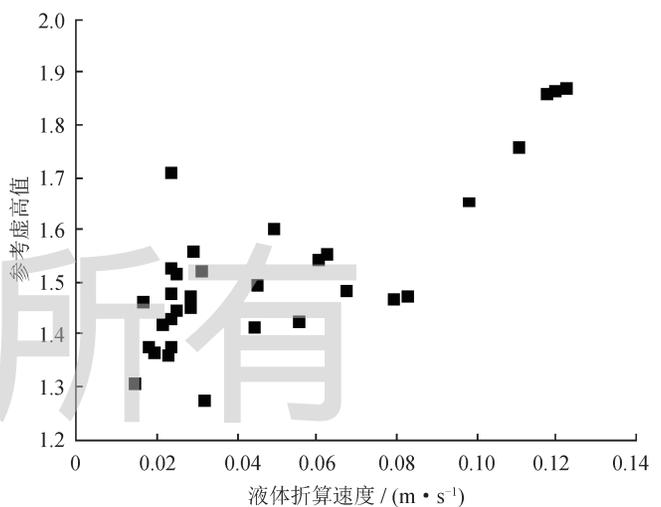


图4 参考虚高值与液体折算速度关系图

从图 4 观察参考虚高值随着液体折算速度的升高也有所升高，但升高的速率逐渐增大，因此采用二次拟合的形式对数据进行回归分析可以得出：

$$\varphi = 46.88J_1^2 - 2.63J_1 + 1.483 \quad (11)$$

通过式 (11) 和式 (3) 计算得到的修正湿气体质量流量跟参考值进行对比得到的相对误差如图 5 所示，全部数据计算出的均方根误差为 5.1%，

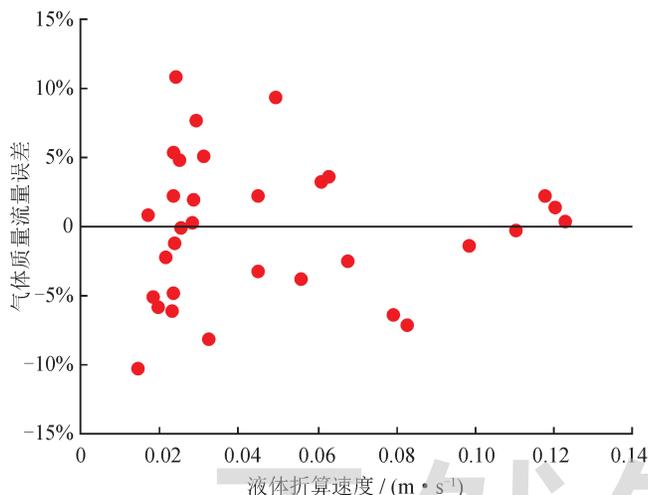


图 5 液体折算速度与气体质量流量误差图

结果能够较好地反映虚高，并能修正模型所使用的参数，可以实时测量，为低压湿气实时在线测量提供了一种新的实用虚高值计算模型。

## 4 结论

1) 在 LM 参数小于 0.3 的低压湿气条件下，文丘里管虚高值主要受 LM 参数、液相折算速度、空隙率和干度影响，基本不受气体折算速度和 Froude 参数的影响。

2) 结合 LM 参数、液相折算速度、干度等已知参数试验得到的半经验公式，可计算得到较为准确的虚高值，但因这些参数在油气田现场通常是未知的，故实用性不强。

3) 试验表明文丘里管虚高值跟液体折算速度有较强的线性关系，据此计算出的气流量均方根误差最小。

4) 基于文丘里管和伽马传感器测量的空隙率从气液两相流分相流模型出发，可计算出液体折算速度，从而建立比较实用的气流量虚高模型，最终通过试验验证得到的气流量均方根误差为 5.1%，可满足低压湿气测量需要。

### 参 考 文 献

[1] API. State of the art multiphase flow metering[M]. 1<sup>st</sup> ed. Washington DC: API Publishing Services, 2004.

[2] Technical Committee ISO/TC 30. Measurement of wet gas flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits[R]. Geneva: ISO, 2012.

[3] 秦云松, 张吉军, 林媛媛. 天然气流量计量标准装置的工艺流

程优化[J]. 天然气工业, 2017, 37(8): 102-107.

Qin Yunsong, Zhang Jijun & Lin Yuanyuan. Process optimization of a natural gas flow measurement standard device[J]. Natural Gas Industry, 2017, 37(8): 102-107.

[4] 张强, 宋彬, 刘丁发. 湿气流量计现场使用技术难点分析[J]. 石油与天然气化工, 2018, 47(4): 83-89.

Zhang Qiang, Song Bin & Liu Dingfa. Technical difficulty analysis of field application of wet gas flow meters in the gas[J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2018, 47(4): 83-89.

[5] 徐孝轩, 李奇, 荆栋. 多气源天然气输配管网的能量计量方法[J]. 天然气工业, 2018, 38(1): 116-122.

Xu Xiaoxuan, Li Qi & Jing Dong. An energy measurement method for multi-source natural gas distribution pipeline networks[J]. Natural Gas Industry, 2018, 38(1): 116-122.

[6] 许晓英, 赵庆凯, 陈丰波, 孔冰. 多相流量计在国内市场的应用及发展趋势[J]. 石油与天然气化工, 2017, 46(2): 99-104.

Xu Xiaoying, Zhao Qingkai, Chen Fengbo & Kong Bing. Application and development trend of multiphase flow meter in the domestic market[J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2017, 46(2): 99-104.

[7] 游赞, 李琳, 段枷亦. 节流降温对天然气大流量计量检定准确性的影响与对策[J]. 天然气工业, 2019, 39(2): 111-116.

You Yun, Li Lin & Duan Jiayi. Effect of temperature drop after throttling on the verification accuracy of large-flow natural gas metering and countermeasures[J]. Natural Gas Industry, 2019, 39(2): 111-116.

[8] Murdock JW. Two-phase flow measurements with orifices[J]. Journal of Fluids Engineering, 1962, 84(4): 419-432.

[9] Chisholm D. Research note: Two-phase flow through sharp-edged orifices[J]. Journal of Mechanical Engineering Science, 1977, 19(3): 128-130.

[10] Lin Zonghu. Two-phase flow measurements with sharp-edged orifices[J]. International Journal of Multiphase Flow, 1982, 8(6): 683-693.

[11] De Leeuw R. Liquid correction of Venturi meter readings in wet gas flow[C]. Bergen: North Sea Flow Measurement Workshop, 1997.

[12] Steven RN. Wet gas metering with a horizontally mounted Venturi meter[J]. Flow Measurement and Instrumentation, 2002, 12(5/6): 361-372.

[13] Steven R & Hall A. Orifice plate meter wet gas flow performance[J]. Flow Measurement and Instrumentation, 2009, 20(4/5): 141-151.

[14] Smith RV & Leang JT. Evaluations of correlations for two-phase flowmeters three current-one new[J]. Journal of Engineering for Power, 1975, 97(4): 589-593.

[15] James R. Metering of steam-water two phase flow by sharp-edged orifices[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 1965, 180(1): 549-572.

[16] 张强, 徐英, 张涛. 长槽道内文丘里湿气流量测量虚高特性[J]. 化工学报, 2011, 62(3): 636-642.

Zhang Qiang, Xu Ying & Zhang Tao. Wet gas performance of long slot internal Venturi meter[J]. CIESC Journal, 2011, 62(3):

636-642.

[17] 张强, 徐英, 张涛. 基于长喉径文丘里管的双差压湿气流量测量[J]. 天津大学学报, 2012, 45(2): 147-153.

Zhang Qiang, Xu Ying & Zhang Tao. Wet gas metering based on dual differential pressure of long throat Venturi tube[J]. Journal of Tianjin University, 2012, 45(2): 147-153.

[18] 梁法春, 方召君, 孙石涛, 谢振强. 基于超声波的气液两相分层液膜厚度及流量的非介入测量[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2017, 32(4): 67-71.

Liang Fachun, Fang Zhaojun, Sun Shitao & Xie Zhenqiang. Non-contact measurement of liquid film thickness and flow rate of gas-liquid two-phase stratified flow based on ultrasonic wave[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2017, 32(4): 67-71.

[19] Pan Yanzhi, Ma Yugao, Huang Shanfang, Niu Pengman, Wang

Dong & Xie Jianhua. A new model for volume fraction measurements of horizontal high-pressure wet gas flow using gamma-based techniques[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2018, 96: 311-320.

[20] Pan Yanzhi, Li Chao, Ma Yugao, Huang Shanfang & Wang Dong. Gas flow rate measurement in low-quality multiphase flows using Venturi and gamma ray[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2019, 100: 319-327.

[21] Rodriguez RV, Al-Asiri M & Asiri KS. Field testing experience of wet gas and multiphase flow meters conducted in wet gas-condensate producers[C]//SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, 22-24 October 2013, Jakarta, Indonesia.

(修改回稿日期 2019-07-10 编辑 何明)

## 2019 年上半年中国天然气市场回顾和展望

2019 年上半年, 全国天然气表观消费量为  $1\,495 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 比 2018 年同期增长 12%, 不过受到中美贸易摩擦升级、“煤改气”增量规模减小等因素影响, 增速较前两年有所放缓。总体来看, 2019 年上半年国内天然气市场整体走势偏弱。

产量方面, 随着三大石油国企积极增加勘探开发投入, 国内天然气产量稳步增加。2019 年 1—6 月全国生产天然气约  $864 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 比 2018 年同期增长 11%。其中, 四川、陕西、新疆依旧是主要的产气区, 这 3 个地区的产量占全国天然气总产量的 73%。

进口方面, 2019 年上半年, 全国 LNG 进口总量为  $2\,830 \times 10^4 \text{ t}$ , 约合  $390 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 同比增加 19%; 进口单价为 506.12 美元/t, 较 2018 年的 457.82 美元/t 同比上涨 11%。深圳迭福、新奥舟山、广西防城港等接收站的投产运营及国际现货价格大幅下跌, 使得 LNG 进口量明显增加。而从 LNG 进口来源来看, 2019 年上半年 LNG 进口来源国与 2018 年变化不大, 主要的进口来源国家依旧为澳大利亚 ( $1\,359 \times 10^4 \text{ t}$ )、卡塔尔 ( $421 \times 10^4 \text{ t}$ ) 以及马来西亚 ( $322 \times 10^4 \text{ t}$ )。来自澳大利亚的进口量占比较 2018 年略有提高, 总量占比由 42% 提高到目前的 48%。主要是因为中海油等国内主要的 LNG 进口商与澳大利亚多个 LNG 出口项目签订了新的采购合同; 另外, 由于窗口期的放开, 国内部分民营企业也开始陆续从澳大利亚采购 LNG。在中方采购量增加的支撑下, 澳大利亚在 2019 年有望取代卡塔尔成为世界上最大的 LNG 出口国。2019 年上半年, 中国从美国共进口 LNG  $26 \times 10^4 \text{ t}$ , 比 2018 年同期大幅下降 84%。尽管中国进口美国 LNG 数量大幅减少, 但由于美国 LNG 的市场份额绝对值较少, 因此减少甚至停止从美国采购 LNG 并未对我国天然气供应产生明显影响。

目前, 我国陆上共建成两大天然气进口通道: ①西起土库曼斯坦和乌兹别克斯坦边境, 经新疆霍尔果斯入境的中亚天然气管道, 入境后与国内西气东输二、三线管道相连; ②西南的中缅天然气管线。2019 年上半年全国共进口气态天然气约  $1\,855 \times 10^4 \text{ t}$ , 约合  $256 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 同比增长约 2%; 进口单价为 365.41 美元/t, 同比上涨 18%。而第三大天然气陆上进口通道——位于我国东北的中俄东线预计今年年底投产, 届时我国的天然气管道年进口能力将有大幅提升。

随着国内供应商加大勘探力度, 勘探技术不断突破, 预计国内天然气产量将维持稳定的增长趋势。同时国内 LNG 接收站密集投产、中俄东线投产及哈萨克斯坦进口管道气量增加将为我国进口量高速增长提供有力保障。展望 2019 年下半年, 未来煤改气的大趋势不变, 环保因素依旧是推动天然气快速发展的主要动力, 国内市场供需将维持较为宽松的状态, 产量与需求量将同步增长。

(天工 摘编自国际能源网)